

# L'ÉTUDE PAR SIMULATION DE L'INFLUENCE DU DOPAGE SUR LES PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES DES CELLULES SOLAIRES À BASE DE SILICIUM AMORPHE

Nafissa MOUSSAOUI<sup>1</sup>, Mohamed BOUAFIA<sup>2</sup>, Nadir BOUARISSA<sup>1</sup>, Lamia BENHAMADOUCHE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Physique des matériaux et ses applications, université Med BOUDIAF, M'sila 28000, Algérie

<sup>2</sup> Laboratoire d'Optique appliquée, université Ferhat ABBAS, Sétif 19000, Algeria

Email : moussaouinafissa@yahoo.fr

## RÉSUMÉ

Les atouts principaux de l'énergie solaire sont une réserve quasi-inépuisable à notre échelle, ainsi que son accessibilité géographique, en dépit de son intermittence. Le solaire photovoltaïque (PV), dont la recherche a débuté dans les années 1950, est l'une des techniques les plus prometteuses pour récupérer cette énergie. Celle-ci a connu de nombreux développements et plusieurs technologies ont émergé à ce jour. Parmi les différentes technologies photovoltaïques, les cellules en couches minces présentent des avantages significatifs.

L'étude proposée concerne l'optimisation du rendement des cellules solaires à base de silicium amorphe a-Si en fonction du dopage de différentes couches des cellules. Et aussi voir l'influence de ce dernier sur les paramètres caractéristiques de nos deux cellules telle que le courant de court-circuit  $I_{cc}$ , la tension en circuit ouvert  $V_{co}$ , le facteur de forme FF et le rendement de conversion PV ( $\eta$ ) avec un éclairage de 1000w/m<sup>2</sup> et une température de 300°K. Il nous a donné un rendement de 30.987% de la cellule double jonction GaAs/a-Si par rapport à la mono jonction a-Si qui est de 24.590% pour une valeur du dopage de 3E18 cm<sup>3</sup>.

**Mots Clés:** *a-Si, GaAs/a-Si, température, double jonction, semi-conducteur, AMPS-1D, photopile.*

---

## NOMENCLATURE

### Symboles :

$I_{cc}$  courant de court-circuit  
 $V_{co}$  tension en circuit ouvert  
FF facteur de forme  
n concentration des électrons libres.  
pt concentration des trous piégés  
p concentration des trous libres.  
nt concentration des électrons piégés  
 $N_D^+$  La concentration ionisée de donneur  
 $N_A^+$  La concentration ionisée d'accepteur

q charge d'électron  
 $J_n$  densités de courant des électrons  
 $J_p$  densités de courant des trous  
 $G_{op}$  taux optique de génération  
R taux de recombinaison  
**Lettres grecques :**  
 $\eta$  rendement de conversion  
 $\Psi$  Le potentiel électrostatique.  
 $\epsilon$  la permittivité

---

## 1. INTRODUCTION

L'analyse des principales propriétés photovoltaïques de nos cellules solaires de type simple jonction (ZnO/a-Si(n)/a-Si(p)) et de type double jonction (ZnO/GaAs(p)/a-Si(n)/a-Si(p)) est basée sur la simulation numérique à

travers un outil simulateur qui s'appelle AMPS-1D. Ce dernier très efficace, puissant, et performant qui nous permettra de lier les caractéristiques de cette cellule avec les propriétés du matériau et la technologie de fabrication.

On a étudié l'influence du dopage des différentes couches (n et p) sur les paramètres caractéristiques de nos deux cellules telle que le courant de court-circuit  $I_{cc}$ , la tension en circuit ouvert  $V_{co}$ , le facteur de forme FF et le rendement de conversion PV ( $\eta$ ) dans une gamme allant de  $2E16$  jusqu'à  $3E18 \text{ cm}^{-3}$ , avec un éclairage fixe de  $1000 \text{ w/m}^2$  et une température de  $300^\circ\text{K}$ . Tout cela dans l'objectif de comparer nos deux cellules et d'améliorer le rendement de conversion de telles cellules à un maximum.

## 2. PRESENTATION DU SIMULATEUR AMPS-1D

L'AMPS-1D (analysis of Microelectronic and Photonic Structures in one Dimension) est notre logiciel de simulation pour l'analyse et la conception des phénomènes de transport en microélectronique et dans les structures photonique. Il diffère des autres logiciels d'analyse de transport tel que SPICE et SCAPS à savoir. Sa capacité de mener tout type de défaut, l'énergie du gap et la distribution spéciale, son incorporation de la recombinaison S-R-H et bande à bande, son incorporation des statique de Boltzmann et de Fermi-Dirac, sa capacité de définir les propriétés variables des matériaux, son traitement globale des contacts et sa capacité de manier le transport dans les dispositifs sous polarisation, sous éclairage ou les deux à la fois.

Il résout numériquement les trois équations du dispositif (l'équation de poisson, équation de continuité pour les trous libres et celle pour les électrons libres).

### L'équation de poisson :

Dans l'espace unidimensionnel, l'équation de Poisson est donnée par :

$$\frac{d}{dx} \left( -\epsilon(x) \frac{d\psi}{dx} \right) = q [p(x) - n(x) + N_D^+(x) - N_A^-(x) + pt(x) - nt(x)]$$

### Les équations de continuité :

Les équations de continuité dans les états délocalisés de la bande de conduction et de valence ont la forme :

Pour les électrons libres

$$\frac{1}{q} \left( \frac{dJ_n}{dx} \right) = -G_{op}(x) + R(x)$$

Pour les trous libres

$$\frac{1}{q} \left( \frac{dJ_p}{dx} \right) = G_{op}(x) - R(x)$$

On a fait la simulation des deux types de cellules solaires (fig-1) et faire la comparaison entre eux :

- ✓ Mono-jonction ZnO/Si-a(n)/Si-a(p)
- ✓ double jonction ZnO/GaAs (p)/Si-a(n)/Si-a(p)

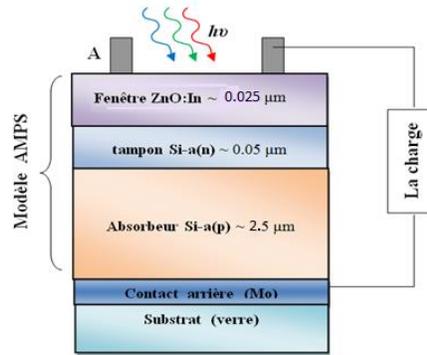


FIGURE 1. Le schéma de la cellule simulée à base de si-a

Les différents paramètres de ces structures sont résumés dans le tableau 1

	ZnO	Si-a(n)	Si-a(p)	GaAs
<b>Épaisseur</b>	150 nm	50 nm	1050 nm	2500 nm
<b>Constant diélectrique</b>	9	10	13.6	10
<b>Mobilité d'électrons</b>	100 cm <sup>2</sup> /Vs	100 cm <sup>2</sup> /Vs	100 cm <sup>2</sup> /Vs	8500 cm <sup>2</sup> /Vs
<b>Mobilité des trous</b>	25 cm <sup>2</sup> /Vs	25 cm <sup>2</sup> /Vs	25 cm <sup>2</sup> /Vs	400cm <sup>1</sup> /Vs
<b>Bande de gap</b>	3.3 eV	1.72 eV	1.72 eV	1.39 eV
<b>Densité effective NC</b>	2.2 x 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>	2.2 x 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>	2.2x10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>	4.6x10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>
<b>Densité effective NV</b>	1.78 x 10 <sup>19</sup> cm <sup>-3</sup>	1.78x10 <sup>19</sup> cm <sup>-3</sup>	1.78x10 <sup>19</sup> cm <sup>-3</sup>	5.00x10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>
<b>Les affinités des électrons</b>	4 eV	3.8 eV	4.1 eV	4.07 eV
<b>Les densities</b>	N <sub>D</sub> : 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>	N <sub>D</sub> : 2 x 10 <sup>18</sup> cm <sup>-3</sup>	NA : 2 x 10 <sup>16</sup> cm <sup>-3</sup>	NA : 4 x 10 <sup>16</sup> cm <sup>-3</sup>

TABLEAU 1. Les paramètres des différentes couches minces de cellules.

### 3. RESULTATS

1- Le dopage de la couche a-Si(p) de la cellule mono-jonction a-Si:

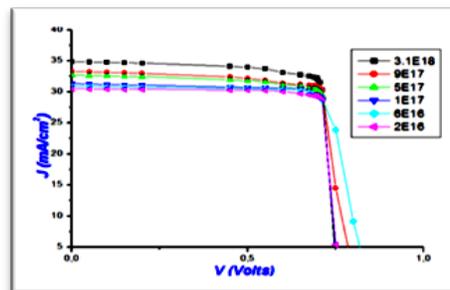


FIGURE 2. Les caractéristiques I-V en fonction du dopage de a-Si p

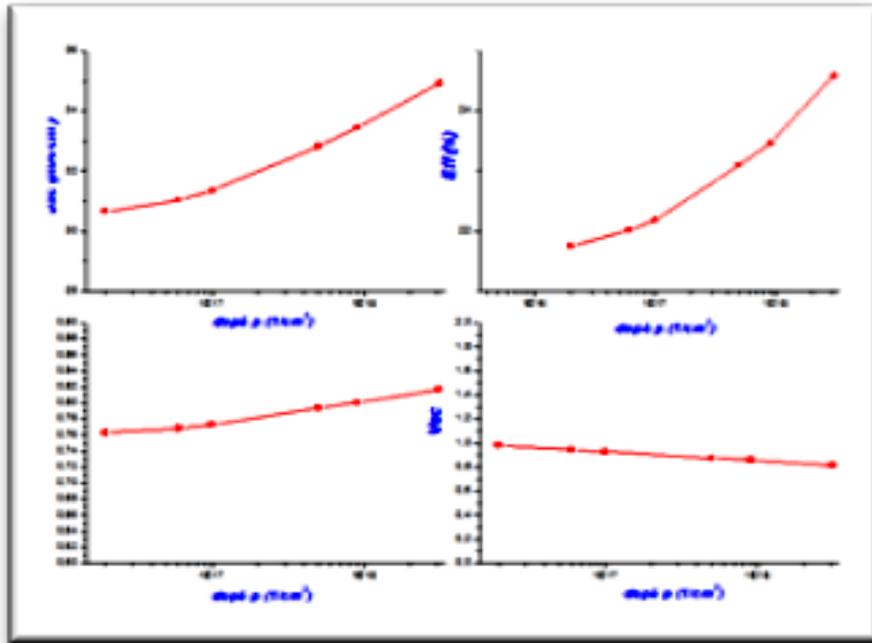


FIGURE 3.  $I_{sc}$  ,  $V_{co}$  , FF et  $\eta$  en fonction du dopage de a-Si p.

2- Le dopage de la couche GaAs(p) de la cellule double-jonction GaAs/a-Si :

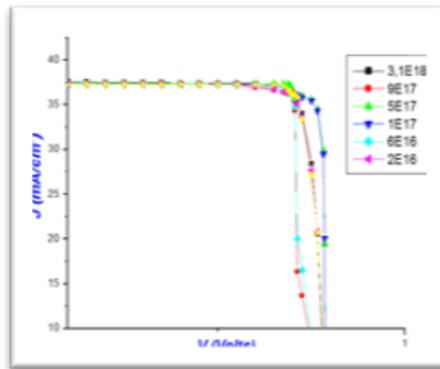


FIGURE 4. Les caractéristiques I-V en fonction du dopage Na/GaAs

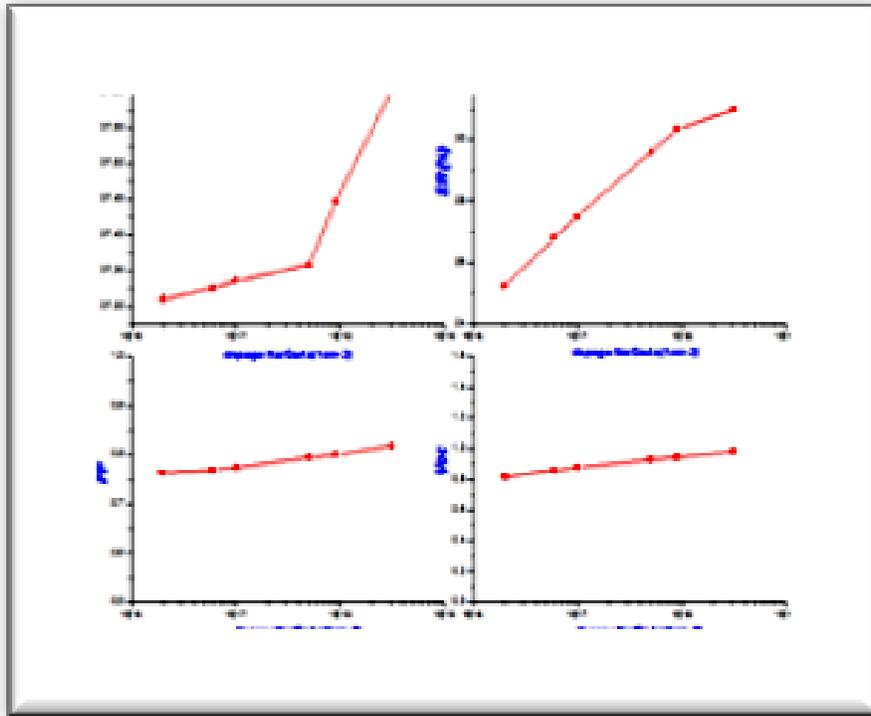


FIGURE 5. Isc, Vco, FF et le Eff en fonction du dopage Na /GaAs

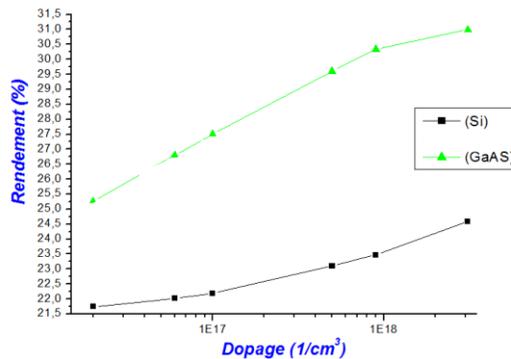


FIGURE 6. Comparaison du rendement de nos deux cellules en fonction du dopage NA.

#### 4. CONCLUSIONS

Les caractéristiques des matériaux semi-conducteurs sont fortement influencées par les impuretés ou les défauts. Ces derniers sont ajoutés pour augmenter la conductivité électrique ou le contrôle de la durée de vie, mais souvent ces impuretés ou ces imperfections dans le réseau, à partir d'un certain seuil, agissent comme facteurs de perte, par conséquent une concentration élevée de défauts défavorise le transport des porteurs, réduisant ainsi le rendement de conversion.

Nous pouvons constater que pour une valeur optimale du dopage de  $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ , la première cellule a-Si correspond à un maximum du rendement de 24.59 % et la deuxième cellule GaAs/a-S correspond à un maximum du rendement de la cellule de 30,987 % .

## REFERENCES

- [1] J. Kanicki, Amorphous and Microcrystalline semiconductor Devices, Ed Artech House, Norweed, MA 1991.
- [2] Green. M. A et AL, Solar efficiency tables (version 13) Progress in photovoltaics; Research and application, Vol 7, p 31-37, 1999.
- [3] A. A. Boussettine, Y. Belhadji, A. Benmansour, Energy Procedia 18 (2012) 693 -700
- [4] Norberto Hernandez –como, Arturo Morale- Acevedo. Simulation of hetero-junction silicon solar cells with AMPS-1D. Solar energy materials & solar cells 94 (2010) 62-67
- [5] M. I. Kabir, Zahari Ibrahim, Kamaruzzaman Sopian, Nowshad Amin, solar Energy Materials & Solar cells 94 (2010) 1542-1545
- [6] S. Tripathi, R.O. Dusane AMPS-1D. Simulation studies of electronic transport in nt uc-Si: H thin films journal of non-crystalline solids 352 (2006) p 1105-1108
- [7] I. Bouchama, K. Djessas , F. Djahli, A. Bouloufa. Similation approch for studying the performance of CiGs thin film solar cell. Thin solid films 519 (2011) p 7280-7283
- [8] S. Haroouni et A. Maafi. Publication de l'association internationale de climatologie ; Vol 15, 2003
- [9] E. Kechar, E. Azzag , A. Touaibia. International journal of scientific research & Engineering Technology (IJSET) Vol 3, pp 71-77 , copyright IPCO 2015.